

УДК 004.896:613.62

НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРИМЕРЕ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

Ю.А. БУЛАВКА

(Полоцкий государственный университет)

Обоснована необходимость применения нечетко-множественного подхода к экспертной оценке профессионального риска для здоровья работников НПЗ, предложена нечеткая модель. С целью совершенствования механизма оценки профессионального риска целесообразно использовать аппарат теории нечетких множеств и нечеткого вывода, основное преимущество которого заключается в возможности создания количественных оценок для лингвистических переменных и эффективного отображения зависимости между этими переменными в виде нечетких правил. Показано применение метода экспертных оценок профессионального риска для здоровья работников на основе нечетко-множественного подхода на примере условий труда для работников нефтеперерабатывающих предприятий.

Введение. На современном этапе развития социотехнических систем удобным средством моделирования сложных динамических процессов в условиях неопределенности и многокритериальности является применение методов теории нечетких множеств и нечеткого вывода [1 – 3]. Теория нечеткой логики (или теория нечетких множеств, Fuzzy Logic) – новый подход к описанию процессов, в которых присутствует неопределенность, затрудняющая и даже исключающая применение точных количественных методов и подходов [4 – 5]. *Преимущества использования метода нечетких множеств:* возможность включения в анализ качественных переменных и оперирования нечеткими входными данными и лингвистическими критериями; быстрое моделирование сложных динамических систем и сравнение их с заданной степенью точности и др.

Процесс воздействия производственных факторов на работника труднопрогнозируем, зависит от многих обстоятельств и условий, поэтому процедура принятия решения по определению уровня профессионального риска представляет собой совокупность переменных различной природы, в связи с этим применительно к данному процессу целесообразно использовать модель нечеткого вывода. Таким образом, цель данной работы – разработка модели нечеткого логического вывода для оценки профессионального риска для здоровья работников.

Результаты и их обсуждение. В качестве нечеткой модели приняты три системы нечеткого вывода: СНВ₁, СНВ₂ и СНВ₃ (рис. 1).

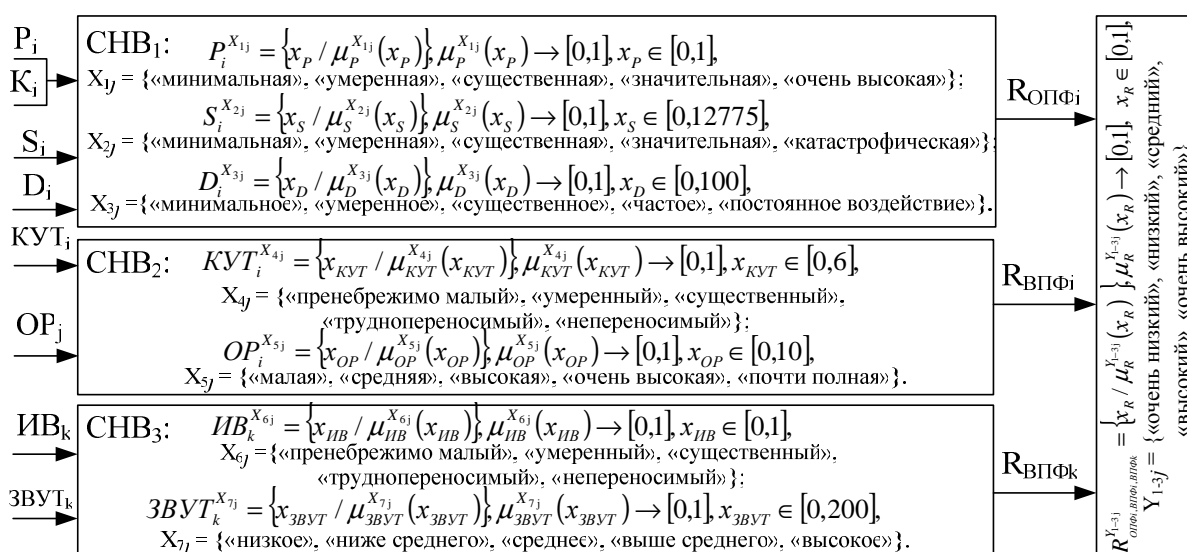


Рис. 1. Системы нечеткого вывода в модели оценки профессионального риска:

X_j, Y_j – значения лингвистических переменных (термы).

Выражение $A = \{x / \mu_A(x)\}$ – совокупность упорядоченных пар нечеткого подмножества A, где $\mu(x)$ – функция принадлежности значения базовой переменной x к подмножеству A

Входными переменными первой системы нечеткого вывода являются составляющие риска для i -й опасности: вероятность (частота) проявления опасности (P_i) с учетом давности происшествий (K_i), серьезность (тяжесть) последствий воздействия опасности (S_i) и длительность воздействия опасности (D_i). Коэффициент давности происшествий предложено учитывать при определении вероятности (частоты) проявления опасности, увеличивая его величину от 10 до 40 %. В качестве выходной переменной первой системы нечеткого вывода используется уровень профессионального риска воздействия опасного производственного фактора (ОПФ) по i -й опасности ($R_{ОПФ_i}$), который является основой для принятия решения о необходимости мер по управлению риском.

Для второй системы нечеткого вывода приняты две переменные: *класс условий труда* – KUT_i (оптимальные – 1; допустимые – 2; вредные – 3.1, 3.2, 3.3, 3.4; опасные – 4) по i -й опасности, полученный в результате аттестации рабочих мест по условиям труда (АРМ) и характеризующий меру вероятности вреда для здоровья при воздействии вредного производственного фактора (ВПФ), и *относительный риск* ($ОР_j$) для j -го класса болезней, получаемый в результате анализа ЗВУТ и выступающий в качестве критерия тяжести. Результатом нечеткого вывода второй системы является лингвистическая переменная – «профессиональный риск воздействия ВПФ» по i -й опасности ($R_{ВПФ_i}$), с помощью которой принимается решение о необходимости разработки эффективных превентивных управленческих решений.

Первой переменной третьей системы нечеткого вывода является предложенный показатель – индекс вредности ($ИВ_k$) для k -й профессии (должности) либо для структурного подразделения (установки, цеха, производства), характеризующий комплексное воздействие факторов производственной среды, определяемых в результате аттестации рабочих мест по условиям труда, и выступающий в роли вероятности воздействия ВПФ; второй переменной $СНВ_3$ принят показатель, характеризующий тяжесть вреда для всех систем организма, – число случаев временной нетрудоспособности по всем болезням, на 100 работающих ($ЗВУТ_k$) для k -й профессии (должности). На выходе третьей системы нечеткого вывода будет лингвистическая переменная – «профессиональный риск комплексного воздействия ВПФ» по i -й опасности ($R_{ВПФ_k}$), характеризующая опасность производственной среды для профессий (должностей) либо всего структурного подразделения (установки, цеха, производства).

Для адекватного определения суммарной вредности условий труда, учитывающей влияние всех производственных факторов, предлагается ввести дополнительный показатель для постоянных рабочих мест – *индекс вредности (ИВ)* [6 – 9], определяемый с округлением до пятого знака по формуле:

$$ИВ = \frac{0,00001 \cdot \sum_{i=1}^n O_i^{\text{класс } 1}}{1 + \sum_{i=1}^n O_i^{\text{класс } 1}} + \frac{0,0001 \cdot \sum_{i=1}^n D_i^{\text{класс } 2}}{1 + \sum_{i=1}^n D_i^{\text{класс } 2}} + \frac{0,001 \cdot \sum_{i=1}^n B_i^{\text{класс } 3.1}}{3 + \sum_{i=1}^n B_i^{\text{класс } 3.1}} + \frac{0,1 \cdot \sum_{i=1}^n B_i^{\text{класс } 3.3}}{2 + \sum_{i=1}^n B_i^{\text{класс } 3.3}} + \frac{1 \cdot \sum_{i=1}^n B_i^{\text{класс } 3.4}}{1 + \sum_{i=1}^n B_i^{\text{класс } 3.4}}, \quad (1)$$

где $O_i^{\text{класс } 1}$, $D_i^{\text{класс } 2}$ – количество i -тых производственных факторов, по которым установлены *оптимальные* условия труда класса 1 и *допустимые* условия труда класса 2 соответственно; $B_i^{\text{класс } 3.1}$, $B_i^{\text{класс } 3.2}$, $B_i^{\text{класс } 3.3}$, $B_i^{\text{класс } 3.4}$ – количество i -тых производственных факторов, по которым установлены *вредные* условия труда класса 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 соответственно; 0,00001; 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1 и числа в знаменателе дробей 1,2,3 – коэффициенты, нивелирующие неравнозначность опасности условий труда при возрастании их класса и необходимые для выполнения условия не применения каскадного суммирования в итоговой оценке; n – общее количество определяемых производственных факторов на рабочем месте.

Индекс вредности не предполагает учет *опасных* (*экстремальных*) условий труда (класса 4), так как работа в таких условиях не допустима за исключением ликвидации аварий, проведения экстренных работ для предупреждения аварийных ситуаций, при этом работы проводятся в соответствующих средствах индивидуальной защиты и при соблюдении регламентированных режимов.

Значение ИВ изменяется в диапазоне от 0 до 1 и характеризует степень соответствия общего уровня производственных факторов действующим гигиеническим нормативам и стандартам с учетом неравнозначности проявления этих факторов. Величина ИВ может выступать в качестве основного показателя при априорной оценке категории подозреваемого профессионального риска в соответствии с данными таблицы 1.

В настоящее время существует несколько алгоритмов нечеткого вывода, наиболее известными из которых являются алгоритмы Мамдани, Цукamoto, Сугено и Ларсена [10]. Принят алгоритм Мамдани, который один из первых нашел применение в системах нечетких множеств. Основными этапами нечеткого вывода по данному алгоритму являются [4]: формирование базы правил системы нечеткого вывода; фаззификация входных параметров; агрегирование; активизация подусловий в нечетких правилах продукций; аккумуляция заключений; дефаззификация.

Таблица 1

Критерии оценки подозреваемого профессионального риска по ИВ

Границы ИВ	Категория подозреваемого профессионального риска
$0 < \text{ИВ} < 0,00005$	Риск для здоровья отсутствует
$0,00005 \leq \text{ИВ} < 0,00025$	Пренебрежимо малый (переносимый, допустимый) риск для здоровья
$0,00025 \leq \text{ИВ} < 0,0005$	Малый (умеренный) риск для здоровья, возможны восстанавливающиеся функциональные изменения в организме
$0,0005 \leq \text{ИВ} < 0,005$	Средний (существенный) риск для здоровья, возможен рост производственно обусловленной заболеваемости, развитие начальных признаков либо легких форм профессиональных заболеваний
$0,005 \leq \text{ИВ} < 0,05$	Высокий (труднопереносимый) риск для здоровья, возможен рост производственно обусловленных хронических патологий и появление профессиональных болезней легкой и средней степеней тяжести
$1 < \text{ИВ} \leq 0,05$	Очень высокий (непереносимый) риск для здоровья, возможно развитие тяжелых форм профессиональных заболеваний, высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности и значительный рост числа хронических патологий

Этап формирования базы правил систем нечеткого вывода заключается в представлении эмпирических либо экспертных знаний в виде конечного множества правил нечетких продукций. При этом в каждом из нечетких высказываний должны быть определены функции принадлежности значений термножества для каждой лингвистической переменной. Введем лингвистические переменные для реализации алгоритма нечеткого вывода Мамдани.

В качестве термножества CHB_1 входной переменной «Вероятность проявления опасности» будем использовать множество $X_1 = \{\text{«минимальная», «умеренная», «существенная», «значительная», «очень высокая»}\}$. Числовое значение переменной $[0, 1]$ и определяется по коэффициенту частоты производственного травматизма. Коэффициент частоты производственного травматизма K_q показывает количество несчастных случаев на производстве, приходящихся на 1000 среднесписочного числа работающих за определенный период (месяц, квартал, год), рассчитывается по формуле [11]:

$$K_q = \frac{N_{HC}}{N_p} \cdot 1000, \quad (2)$$

где N_{HC} – количество пострадавших от НС на производстве с нетрудоспособностью на один рабочий день и более, в том числе с летальным исходом в отчетный период; N_p – среднесписочная численность работников.

В качестве термножества CHB_1 входной переменной «Серьезность последствий воздействия опасности» будем использовать множество $X_2 = \{\text{«минимальная», «умеренная», «существенная», «значительная», «катастрофическая»}\}$. Числовое значение переменной $[0, 12775]$. Граница интервала (значение в днях) эквивалентна потере 35 лет трудоспособности вследствие смертельной травмы.

В качестве термножества CHB_1 входной переменной «Длительность воздействия опасности» используется множество $X_3 = \{\text{«минимальная», «умеренная», «существенная», «частое», «постоянное воздействие»}\}$. Числовое значение переменной принадлежит интервалу $[0, 100]$ и определяется в процентах продолжительности воздействия опасности за смену или рабочий день.

В качестве термножества CHB_2 входной переменной «Класс условий труда» будем использовать множество $X_4 = \{\text{«пренебрежимо малый», «умеренный», «существенный», «труднопереносимый», «непереносимый»}\}$. Числовое значение переменной $[0, 6]$ и определяется аппроксимированием классов условий труда в виде балльной оценки по следующей шкале [12]: оптимальные – 1 балл; допустимые – 2 балла; вредные класса 3.1 – 3 балла; вредные класса 3.2 – 4 балла; вредные класса 3.3 – 5 баллов; вредные класса 3.4 – 6 баллов (опасные условия труда класса 4 не рассматриваются).

В качестве термножества CHB_2 входной переменной «Относительный риск» будем использовать множество по степени производственной обусловленности заболеваний $X_5 = \{\text{«малая», «средняя», «высокая», «очень высокая», «почти полная»}\}$. Числовое значение переменной $[0, 10]$ и определяется по принятой в медицине труда шкале [13].

В качестве термножества CHB_3 входной переменной «Число случаев временной нетрудоспособности по всем болезням, на 100 работающих» будем использовать множество $X_6 = \{\text{«низкое», «ниже среднего», «среднее», «выше среднего», «высокое»}\}$. Числовое значение переменной $[0, 200]$ и определяется по шкале Е.Л. Ноткина [13].

В качестве термножества CHB_3 входной переменной «Индекс вредности» будем использовать множество $X_7 = \{\text{«пренебрежимо малый», «умеренный», «существенный», «труднопереносимый», «непереносимый»}\}$. Числовое значение переменной $[0, 1]$ и определяется по формуле (1).

В качестве терм-множества выходной переменной $CHB_1 - CHB_3$ «Профессиональный риск» используется множество $Y_{1-3} = \{\text{«очень низкий»}, \text{«низкий»}, \text{«средний»}, \text{«высокий»}, \text{«очень высокий»}\}$. Числовое значение выходной переменной $[0, 1]$.

Сформулированы базы правил систем нечеткого вывода в виде совокупности нечетких предикатных правил вида:

$$P_1: \text{если } x_1 \text{ есть } X_1 \text{ и } x_2 \text{ есть } X_2, \text{ то } y \text{ есть } Y_1,$$

$$P_i: \text{если } x_1 \text{ есть } X_i \text{ и } x_2 \text{ есть } X_i, \text{ то } y \text{ есть } Y_i, i = 1, k,$$
(3)

где x_i – входные переменные; y – выходная переменная; X_i, Y_i – значения лингвистических переменных (термы).

Правила для CHB_1 с учетом всех возможных комбинаций:

P_1 : если «Вероятность проявления опасности» есть «минимальная» и «Серьезность последствий воздействия опасности» есть «минимальная» и «Длительность воздействия опасности» есть «минимальная», то «Профессиональный риск воздействия ОПФ» есть «очень низкий»;

P_2 : если «Вероятность проявления опасности» есть «минимальная» и «Серьезность последствий воздействия опасности» есть «минимальная» и «Длительность воздействия опасности» есть «умеренная», то «Профессиональный риск воздействия ОПФ» есть «очень низкий»;

P_3 : если «Вероятность проявления опасности» есть «минимальная» и «Серьезность последствий воздействия опасности» есть «минимальная» и «Длительность воздействия опасности» есть «существенный», то «Профессиональный риск воздействия ОПФ» есть «очень низкий»;

P_4 : если «Вероятность проявления опасности» есть «минимальная» и «Серьезность последствий воздействия опасности» есть «минимальная» и «Длительность воздействия опасности» есть «частое», то «Профессиональный риск воздействия ОПФ» есть «низкий»;

P_5 : если «Вероятность проявления опасности» есть «минимальная» и «Серьезность последствий воздействия опасности» есть «минимальная» и «Длительность воздействия опасности» есть «постоянное воздействие», то «Профессиональный риск воздействия ОПФ» есть «низкий»;

...
 P_{125} : если «Вероятность проявления опасности» есть «очень высокая» и «Серьезность последствий воздействия опасности» есть «катастрофическая» и «Длительность воздействия опасности» есть «постоянное воздействие», то «Профессиональный риск воздействия ОПФ» есть «очень высокий».

Базы правил системы нечеткого вывода CHB_2 и CHB_3 представлены в матричном виде в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2

База правил системы нечеткого вывода CHB_2

Относительный риск Класс условий труда	Степень производственной обусловленности заболеваний				
	малая	средняя	высокая	очень высокая	почти полная
	Категория профессионального риска				
Пренебрежимо малый	очень низкий	низкий	низкий	средний	средний
Умеренный	низкий	низкий	средний	средний	высокий
Существенный	низкий	средний	средний	высокий	высокий
Труднопереносимый	средний	средний	высокий	высокий	очень высокий
Непереносимый	средний	высокий	высокий	очень высокий	очень высокий

Таблица 3

База правил системы нечеткого вывода CHB_3

Заболеваемость с УВТ Индекс вредности	Число случаев временной нетрудоспособности по всем болезням на 100 работающих				
	низкое	ниже среднего	среднее	выше среднего	высокое
	Категория профессионального риска				
Пренебрежимо малый	очень низкий	низкий	низкий	средний	средний
Умеренный	низкий	низкий	средний	средний	высокий
Существенный	низкий	средний	средний	высокий	высокий
Труднопереносимый	средний	средний	высокий	высокий	очень высокий
Непереносимый	средний	высокий	высокий	очень высокий	очень высокий

На основе экспертных оценок и принципа лингвистического распознавания образов установлено, что наиболее полно описывают изменение входных переменных термы, распределенные по треугольной функции принадлежности (кроме входных переменных OP_j и IB_k и выходных переменных $R_{ОПФ_i}$, $R_{ВПФ_i}$, $R_{ВПФ_k}$, для которых характерны трапециевидные функции принадлежности).

Графики треугольных функций принадлежности для термов входных и выходных лингвистических переменных первой системы нечеткого вывода представлены на рисунках 2 – 5.

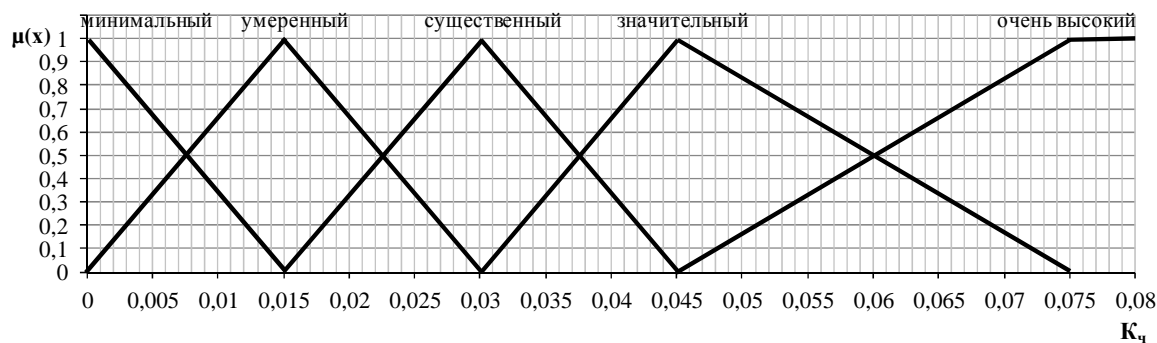


Рис. 2. Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной $СНВ_1$ «Вероятность проявления опасности»

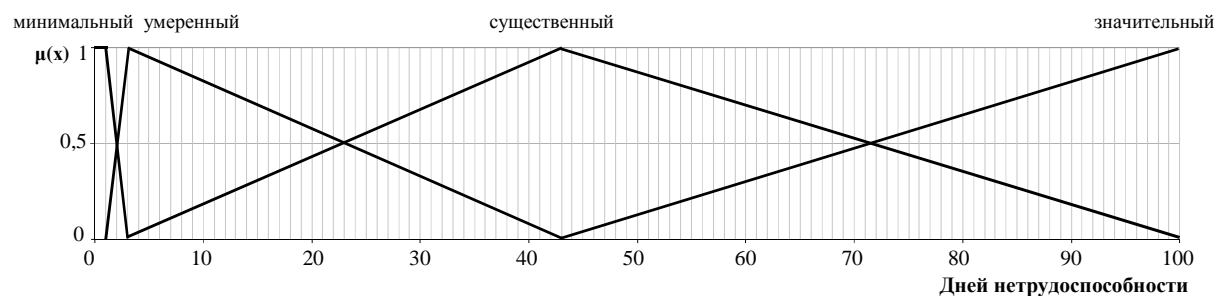


Рис. 3. Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной $СНВ_1$ «Серьезность последствий воздействия опасности»

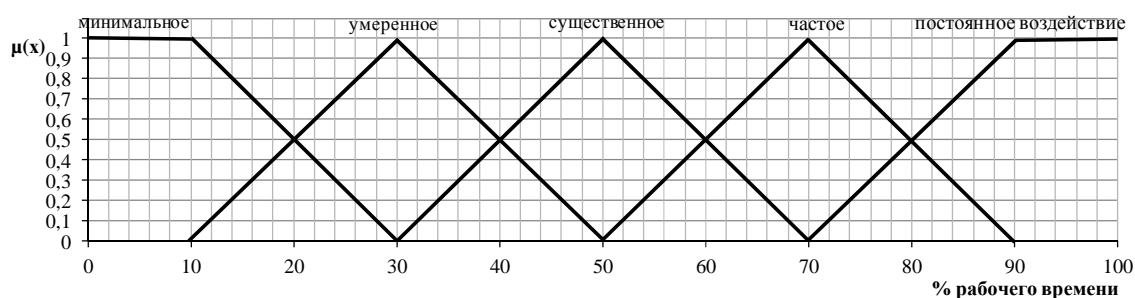


Рис. 4. Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной $СНВ_1$ «Длительность воздействия опасности»

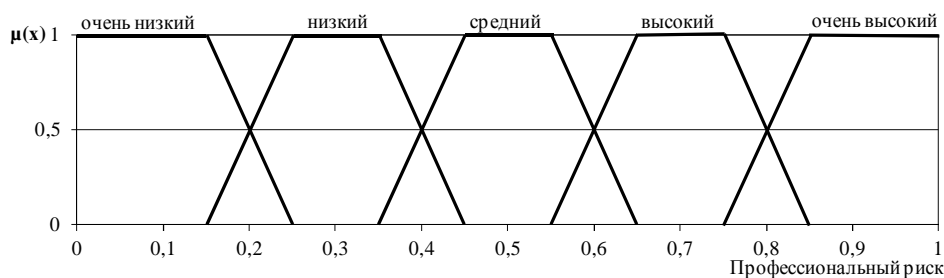


Рис. 5. Графики функций принадлежности для термов выходных лингвистических переменных $СНВ_1$ – $СНВ_3$ «Профессиональный риск»

Этап агрегирования представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода. Если условие правила составное высказывание, определяется степень истинности условия на основе известных степеней истинности подусловий. Для определения результата нечеткой конъюнкции (связки «И») и для определения результата нечеткой дизъюнкции (связка «ИЛИ») существуют различные формулы [4]. Активизация в системах нечеткого вывода представляет собой процесс нахождения степени истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций.

В нашем случае для соединения высказываний необходима min-конъюнкция:

$$\mu'(y) = \min\{c, \mu(y)\}, \quad (4)$$

где c – произведение степени истинности условия на весовой коэффициент правила (принимается равным единице); $\mu(y)$ – степень истинности нечеткого высказывания о результате в правиле.

Находим уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил (с использованием операции \min). На этапе аккумуляции находим функции принадлежности для каждой из выходных лингвистических переменных множества, т.е. объединяем все степени истинности заключений для получения функции принадлежности каждой из выходных переменных с использованием операции \max [5].

Для выполнения дефазификации, т.е. нахождения обычного (четкого) значения для каждой из выходных лингвистических переменных множества, предложено применение метода центра тяжести (центроид площади) для дискретного множества значений функции принадлежности по формуле:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}, \quad (5)$$

где y – результат дефазификации; x – переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной; $\mu(x)$ – функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной после этапа аккумуляции; \min и \max – левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества рассматриваемой выходной переменной.

При дефазификации методом центра тяжести обычное (не нечеткое) значение выходной переменной равно абсциссе центра тяжести площади, ограниченной графиком кривой функции принадлежности соответствующей выходной переменной [4].

Для выполнения расчетов согласно предлагаемой модели разработан программный продукт* на языке программирования С# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2010 Express Edition, упрощающий процедуру оценки профессионального риска.

Применение программного средства для существующих условий при оценке профессионального риска воздействия опасного производственного фактора по CHB_1 (рассматривалась опасность получения химического и термического ожога, отравления вредными веществами) на оператора технологических установок производства смазочных масел и битумов НПЗ показало, что при остановке и подготовке оборудования к ремонту риск получения химического ожога ($R_{ОПФ} = 0,50$) «средний» со степенью уверенности 100 %, отравления вредными веществами ($R_{ОПФ} = 0,33$) – «низкий» с 100 %-й уверенностью, термического ожога ($R_{ОПФ} = 0,58$) – «средний» с 71 %-й уверенностью.

Аналогичные расчеты могут производиться для всех видов выполняемых работ.

Расчет риска снижения остроты слуха по CHB_2 для операторов технологических установок различных производств показал, что на основных производствах (топлив и масел) ($R_{ВПФ} = 0,35$) риск соответствует «низкому» со 100 %-й уверенностью, а для некоторых вспомогательных цехов, например товарно-сырьевого, ($R_{ВПФ} = 0,75$) – «высокому» уровню со степенью уверенности 98 %.

В таблице 4 приведены данные по расчету профессионального риска комплексного воздействия вредных факторов производственной среды для работников различных производственных подразделений, полученные по модели CHB_3 при помощи разработанной программы.

В соответствии с принятыми критериями приемлемости на НПЗ предложена и апробирована шкала оценки рисков (R) по нечеткому 01-классификатору, в соответствии с которой в диапазоне $0 \leq R < 0,6$ риски приемлемые, при $R \geq 0,6$ неприемлемые и требуют разработки мер по управлению ими, а при $R \geq 0,8$ необходимы срочные мероприятия по снижению либо устранению опасности.

* Совместная разработка с магистрантом Е.В. Сташевич.

Высокому риску комплексного воздействия факторов производственной среды подвержены работники товарно-сырьевого цеха, базы оборудования и ремонтного производства (см. табл. 4), что требует разработки управляющих превентивных воздействий по снижению уровня риска.

Таблица 4

Профессиональный риск комплексного воздействия факторов производственной среды для работников НПЗ

Структурное подразделение	Уровень риска	Степень уверенности, %	Категория риска
Нефтяных топлив и ароматики	0,47	100	Средний
Производство масел смазочных и битумы	0,51	100	Средний
Ремонтное производство	0,70	100	Высокий
Производство энергоснабжения и очистных сооружений	0,54	100	Средний
Товарно-сырьевой цех	0,70	100	Высокий
Цех электроснабжения	0,50	100	Средний
Цех контрольно-измерительных приборов и автоматики	0,56	94	Средний
Центральная лаборатория	0,50	100	Средний
Автотранспортный цех	0,51	100	Средний
Цех базы оборудования	0,70	100	Высокий
Цех приготовления и расфасовки органических растворителей	0,48	100	Средний
Производство присадок	0,54	100	Средний
НПЗ в целом	0,59	56	Средний

Для выполнения расчетов по предложенному методу также могут найти применение специализированные программные инструменты MatLab (пакет программ Fuzzy LogicToolbox), fuzzyTECH и др. Преимуществом специализированных программных инструментов является возможность визуального отображения полученных результатов.

На рисунке 6 показана трехмерная поверхность нечеткого вывода зависимости уровня риска снижения остроты слуха для операторов технологических установок производства смазочных масел и битумов НПЗ от входных переменных, построенная в программе fuzzyTECH 5.81d.

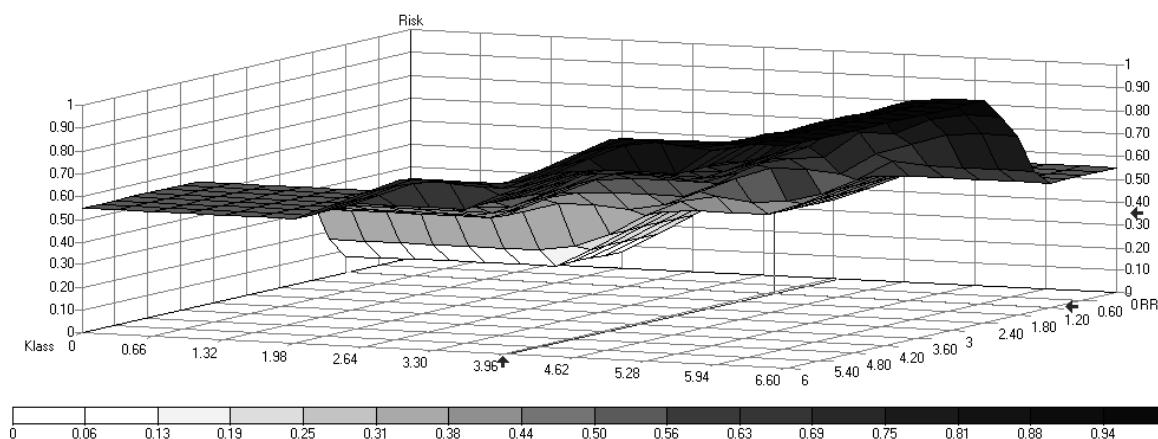


Рис. 8. Поверхность нечеткого вывода, построенная в программе fuzzyTECH 5.81d (klass – класс условий труда; RR – Relative Risk (относительный риск); Risk – риск)

Заключение. Применение предложенного концептуального подхода, реализованного в программном продукте для оценки профессионального риска для здоровья работников, позволит предопределять адекватные управленческие решения по устранению либо ограничению воздействия производственных факторов в условиях неопределенности, что повысит качество функционирования систем управления охраной труда в организациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mahant, Narendra. Risk Assessment is Fuzzy Business – Fuzzy Logic Provides the Way to Assess Off-site Risk from Industrial Installations // Risk 2004. – 2004. – No. 206. – P. 39 – 44.

2. Tah, H.M. A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic / H.M. Tah, V.J. Carr // Construction Management & Economics. – 2000. – Vol. 18, № 4. – P. 491 – 500.
3. Алтунин, А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: моногр. / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2000. – 352 с.
4. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
5. Згуровский, М.З. Модели и методы принятия решений в нечетких условиях / М.З. Згуровский. – Киев: Наук. думка, 2011. – 275 с.
6. Булавка, Ю.А. Развитие комплексной оценки профессионального риска путем учета суммарной вредности условий труда / Ю.А. Булавка // Гигиена и санитария. – 2013. – № 4. – С. 47 – 54.
7. Булавка, Ю.А. Совершенствование методики оценки профессионального риска путем использования индекса вредности / Ю.А. Булавка // Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века: материалы 13-й междунар. науч. конф., Минск, 16 – 17 мая 2013 г.; под ред. С.П. Кундаса, С.С. Позняка, Н.А. Лысухо. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2013. – С. 94.
8. Булавка, Ю.А. Аттестация рабочих мест по условиям труда как основная составляющая системы оценки профессиональных рисков / Ю.А. Булавка // Культура и безопасность в современном мире: материалы междисциплинар. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – М.: Акад. ГПС МЧС России, 2013. – С. 10 – 13.
9. Булавка, Ю.А. Совершенствование априорной оценки профессиональных рисков путем учета суммарной вредности условий труда / Ю.А. Булавка // Проблемы техносферной безопасности-2013: материалы 2-й междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и спец. – М.: Акад. ГПС МЧС России, 2013. – С. 184 – 186.
10. Ярушкина, Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: учеб. пособие / Н.Г. Ярушкина. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
11. Булавка, Ю.А. Анализ производственного травматизма на нефтеперерабатывающем предприятии / Булавка Ю.А. // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – № 3. – С. 130 – 137.
12. Минько, В.М. Математическое моделирование в управлении охраной труда / В.М. Минько. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2002. – 184 с.
13. Критерии оценки и показатели производственно обусловленной заболеваемости для комплексного анализа влияния условий труда на состояние здоровья работников, оценки профессионального риска: (инструкция) / Р.Д. Клебанов [и др.]. – Минск: ГУ РНМБ, 2009. – 33 с.

Поступила 23.09.2013

FUZZY-SET APPROACH FOR EXPERT OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT (AN EXAMPLE OF EMPLOYEES AT REFINERY)

Y. BULAUKA

Fuzzy model and the necessity of applying fuzzy-set approach to expert assessment of occupational risks to workers' health are presented. In order to improve the mechanism of occupational risk assessment one should use the tools of the theory of fuzzy inference. Its advantage is the ability to create a quantitative assessment of linguistic variables and effective display of the relationship between these two variables in the form of fuzzy rules. Application of the method of expert assessment of occupational risk for health of workers based on fuzzy-set approach by the example of the working conditions for employees of refineries is shown.